



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa  
Brasil

Fernandes Amaral, Marcos Vinícius; Lopes de Souza, Agostinho; Soares, Vicente Paulo; Boechat  
Soares, Carlos Pedro; Garcia Leite, Helio; Martins, Sebastião Venâncio; Fernandes Filho, Elpídio  
Inácio; Moreira de Lana, Jacinto

Avaliação e compação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de  
estádios de sucessão florestal

Revista Árvore, vol. 33, núm. 3, junio, 2009, pp. 575-582

Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48813670019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **AVALIAÇÃO E COMPAÇÃO DE MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES PARA O MAPEAMENTO DE ESTÁDIOS DE SUCESSÃO FLORESTAL<sup>1</sup>**

Marcos Vinícius Fernandes Amaral<sup>2</sup>, Agostinho Lopes de Souza<sup>3</sup>, Vicente Paulo Soares<sup>3</sup>, Carlos Pedro Boechat Soares<sup>3</sup>, Helio Garcia Leite<sup>3</sup>, Sebastião Venâncio Martins<sup>3</sup>, Elpídio Inácio Fernandes Filho<sup>4</sup> e Jacinto Moreira de Lana<sup>5</sup>

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo comparar as imagens orbitais fornecidas pelos satélites CBERS-2, IRS-P6 e Quickbird para o mapeamento dos estádios de sucessão florestal, utilizando-se diferentes métodos de classificação de imagens digitais. A área de estudo incluiu as reservas de floresta nativa pertencentes ao projeto florestal Macedônia, localizado nos Municípios de Bugre e Ipaba, entre os paralelos 19°19'00"S e 19°24'30"S e os meridianos 42°27'00"W e 42°21'00"W, Estado de Minas Gerais. Foram utilizadas as classificações visual, por pixel e por regiões. Para fins de avaliação da fidedignidade da classificação de cada método, de forma particular, foi gerada a matriz de erros e calculado o índice Kappa. Para testar a significância estatística da diferença entre dois índices Kappa, foi utilizado o teste Z. De maneira geral, os melhores resultados foram as classificações obtidas nos métodos por regiões e visual, apresentando valores de Kappa mais elevados que as classificações por pixel; a imagem resultante da fusão da imagem IRS com a CBERS, classificada pelo método de regiões, obteve o melhor índice Kappa, estando dentro do nível considerado como bom. Os problemas de separação entre as classes resultaram em classificações com baixo nível de exatidão, o que pode ser explicado pela semelhança espectral entre os alvos (estádios inicial, médio e avançado de sucessão florestal), pequena variação entre os valores numéricos dos pixels, existência de sobreposição entre classes e baixa resolução espectral dos sensores.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto, classificação de imagem digital e Quickbird.

## **ASSESSMENT AND COMPARISON OF METHODS OF CLASSIFICATION OF ORBITAL IMAGES FOR THE MAPPING OF FOREST SUCCESSION STADIUMS**

**ABSTRACT** – The objective of the present work was to compare the orbital images from the CBERS 2, IRS-P6 and the Quickbird satellites, for the mapping of the stadiums of ecological succession, using different methods of classification of orbital images. The study area included the native forest reserves of the Macedônia forest project, located in the cities of Bugre and Ipaba, between the parallels 19°19'00"S and 19°24'30"S and the meridians 42°27'00"W and 42°21'00"W, Minas Gerais state. The visual, per region and pixel-based classifications were used. In order to evaluate the classification accuracy of each method, a matrix of errors was generated and the Kappa index was calculated. The Z test was used in order to test the statistical significance of the difference between two Kappa indices. Altogether, the best results were the classifications obtained in the visual and region-based methods, with values of kappa higher than those for pixel-based classifications. The image resulting from the fusion of IRS and CBERS images, which were classified through the method

<sup>1</sup> Recebido em 19.09.2007 e aceito para publicação em 24.04.2009.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: <macamaral@yahoo.com.br>.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Florestal da UFV. E-mail: <alsouza@ufv.br>.

<sup>4</sup> Departamento de Solos da UFV. E-mail: <elpidio@ufv.br>.

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Florestal da UFV. E-mail: <alsouza@ufv.br>.

<sup>5</sup> Departamento de Meio Ambiente e Qualidade da Celulose Nipo-Brasileira SA (CENIBRA). E-mail: <jacinto.lana@cenibra.com.br>.

*of regions, obtained the best Kappa index, and was in the level considered as good. The problems of separation among the classes resulted in classifications with a low degree of accuracy. This can be explained by the spectral similarity present between the targets (initial, medium and advanced stadiums), the small variation among the numerical values of the pixels, the existence of overlapping among classes and the low spectral resolution of sensors.*

*Keywords: Remote sensing, classification of orbital images and Quickbird.*

## 1. INTRODUÇÃO

O mapeamento e a classificação de reservas de florestas naturais, com relação aos seus estádios de sucessão ecológica, consistem no passo básico para implantação de diversos estudos e ações de manejo. Com base nos resultados obtidos após o mapeamento, são conhecidas quantitativa e qualitativamente as áreas de floresta nativa preservadas, bem como a distribuição espacial delas. Essas informações podem subsidiar estudos de fitossociologia, florística, reintrodução de fauna, recuperação ambiental, educação ambiental, proteção ambiental, estabelecimento de áreas prioritárias para conservação e florestas de alto valor para conservação, entre outros, além de serem base para averbações e adequações de áreas de reserva legal e de preservação permanente. Para Whitmore (1984), quando há o interesse em comparar toda a produtividade (ou estoque) por unidade de área, é necessário estimar a produção nas diferentes fases de desenvolvimento e a área onde cada uma ocorre.

As diferentes fases de desenvolvimento florestal são umas das mais importantes unidades de planejamento florestal. As classes de mapa resultantes são as chamadas fases de desenvolvimento florestal, ou estádios de sucessão ecológica. Os métodos de mapeamento dessas fases de desenvolvimento são muitas vezes subjetivos, caros e demorados, requerendo grandes esforços em trabalhos de campo, sendo então requerida a investigação de novas técnicas e tecnologias, que sejam eficientes quanto ao mapeamento do mosaico florestal, vindo a substituir as técnicas tradicionais (NAVE, 1999).

É nesse sentido que as técnicas de sensoriamento remoto vêm-se mostrando promissoras, sobretudo no mapeamento de grandes extensões geográficas onde o uso dessas técnicas é requerido, realizado a partir de imagens orbitais, onde a resolução espacial é um dos principais fatores na definição das legendas dos mapas temáticos (PONZONI e REZENDE, 2002). O desenvolvimento de sensores com alta resolução espacial tem permitido aos usuários o mapeamento detalhado da superfície terrestre, abrindo um novo campo para

os usuários de imagens orbitais. As técnicas de sensoriamento remoto têm sido consideradas como alternativas na quantificação da biomassa florestal, uma vez que a radiação eletromagnética refletida pelo dossel da floresta é registrada pelos sensores remotos, sendo fruto da interação da energia solar refletida, transmitida e absorvida pelos elementos dessa vegetação (PONZONI e REZENDE, 2004).

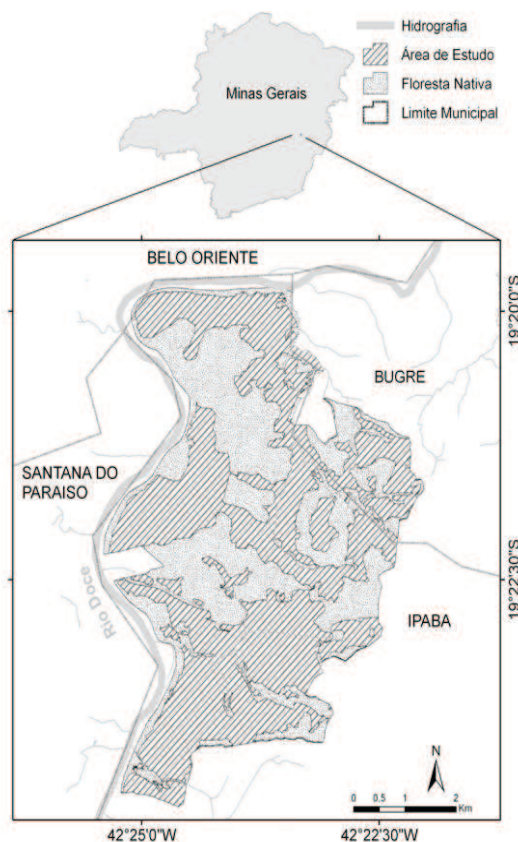
Todavia, os dados de sensores remotos necessitam ser analisados para que sejam extraídas informações necessárias ao planejamento, manejo e monitoramento dos recursos (RIBEIRO, 2003). Nesse sentido, muitas técnicas de classificação foram desenvolvidas, visando, sobretudo, o mapeamento do uso e ocupação do solo de forma automática, através de algoritmos especializados. Esses trabalhos, focados no mapeamento terrestre, normalmente abordam classes de uso da terra com diferentes características espectrais (área urbana, pastagem, mata natural, espelho d'água etc.). No mapeamento de fases de sucessão florestal, as classes espectrais são estreitamente semelhantes, tornando o processo de classificação das diferentes fases de desenvolvimento florestal mais difícil; assim, faz-se necessária a realização de pesquisas objetivando avaliar o uso de técnicas e tecnologias de sensoriamento remoto, mapeamento de fases de desenvolvimento florestal.

Este trabalho teve como objetivo comparar métodos de classificação de imagens multiespectrais utilizando diferentes imagens de satélites de diferentes resoluções espaciais e espectrais, para o mapeamento de estádios de sucessão florestal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo inclui as reservas de floresta nativa pertencentes ao projeto florestal Macedônia, localizado nos Municípios de Bugre e Ipaba, entre os paralelos 19°19'00"S e 19°24'30"S e os meridianos 42°27'00"W e 42°21'00"W, na região leste do Estado de Minas Gerais (Figura 1).



**Figura 1** – Projeto florestal Macedônia, com destaque para as reservas de floresta nativa, Municípios de Ipaba e Bugre, MG.

**Figure 1** – Macedônia forest project, highlighting the native forest reserves, cities of Bugre and Ipaba, Minas Gerais, Brazil.

O projeto Macedônia possui aproximadamente 1.347 ha de floresta nativa e insere-se na região da Floresta Estacional Semidecidual Submontana (IBGE, 2004); parte dessa propriedade (560 ha) é reconhecida pelo IBAMA, através da Portaria nº 111, de 14 de outubro de 1994, como Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN.

## 2.2. Imagens Orbitais

Foram utilizadas três imagens de satélite, de diferentes resoluções espectrais e espaciais, obtidas dos sensores a bordo dos satélites Quickbird, IRS e CBERS-2 (Tabela 1).

A imagem Quickbird de 61 cm de resolução espacial foi composta das bandas pancromática, azul, verde e vermelho, e a imagem IRS com 6 m de resolução espacial, banda pancromática. A imagem CBERS-2 de 20 m de resolução espacial foi adquirida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo composta das bandas referentes ao verde, vermelho e infravermelho próximo.

A diferença entre as datas de aquisição das imagens não interferiram de forma significativa na análise, dadas as características de regeneração, sucessão florestal e manejo das áreas de mata nativa voltada para a preservação e conservação ambiental. O crescimento do dossel se dá de forma mais lenta que o intervalo de aquisição das imagens.

## 2.3. Pré-processamento dos dados

As imagens foram submetidas ao realce de contraste, utilizando-se a técnica de realce de contraste linear, expandindo-se os valores numéricos dos pixels presentes na imagem de forma a ocuparem toda a capacidade de visualização do monitor, tendo como limiar o valor médio dos pixels mais dois desvios-padrão ( $2\sigma$ ).

**Tabela 1** – Características das imagens de satélite, utilizadas para mapeamento dos estádios de sucessão florestal, no projeto Macedônia

**Table 1** – Characteristics of the satellites images, used for mapping the stadium of ecological succession, in Macedônia project

Satélite	Data	Sensor	Banda	$\lambda$ ( $\mu$ m)	Resolução espacial (m)
Quickbird	27/10/04	Quickbird	Pancromática	0,45 - 0,90	61 cm
			Azul	0,45 - 0,52	2,4 m
			Verde	0,52 - 0,60	2,4 m
			Vermelho	0,63 - 0,69	2,4 m
IRS-P6	06/02/06	PAN	Pancromática	0,50 - 0,75	6 m
CBERS-2	07/08/06	CCD	Verde	0,52 - 0,59	20 m
			Vermelho	0,63 - 0,69	
			Infravermelho próximo	0,77 - 0,89	

Após o realce de contraste, foi realizada a correção geométrica das imagens CBERS e IRS, com a identificação e seleção de pontos de controle terrestre (PCTs) coincidentes na imagem Quickbird, cujas coordenadas representavam as coordenadas reais de campo. As coordenadas de cada pixel das imagens originais foram estimadas mediante a utilização de uma regressão polinomial de primeiro grau, em que os pixels foram realocados na imagem corrigida pelo método do vizinho mais próximo, tendo como referência o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), datum South American 1969, zona 23 sul. A avaliação da qualidade da correção geométrica foi feita com base no valor do erro médio quadrático total (RMS).

Finalmente, as áreas de floresta nativa presentes nas imagens foram recortadas no módulo Subset Image do software ERDAS IMAGINE 8.6, resultando em três imagens multiespectrais dos sensores anteriormente citados (Quickbird, IRS e CBERS), contendo apenas dados digitais referentes às áreas de floresta nativa.

## 2.4. Fusão das imagens IRS e CBERS

A fusão da banda pancromática do IRS com a imagem multiespectral infravermelha (4r,3g,2b) do satélite CBERS-2 teve o objetivo de gerar uma imagem multiespectral de alta resolução espacial (6 m), contendo a região do infravermelho próximo.

A fusão das imagens foi realizada no software ERDAS IMAGINE 8.6, através da fusão IHS (*Intensity Hue Saturation*). A imagem multiespectral CBERS (4r,3g,2b) foi transformada em uma imagem IHS, contendo os componentes intensidade, matiz e saturação. Em seguida, o componente intensidade foi substituído pela banda pancromática da imagem do satélite IRS, seguida da transformação inversa IHS para RGB, resultando em uma imagem multiespectral com as faixas espectrais do verde, vermelho e infravermelho próximo de 6 m de resolução espacial, denominada IRS-CBERS.

## 2.5. Classificação do mosaico sucessional

As áreas preservadas sob cobertura florestal nativa foram classificadas quanto ao estágio de sucessão em: inicial, médio e avançado, conforme parâmetros classificatórios estabelecidos na Resolução nº 10, do CONAMA, de 1º de outubro de 1993. Os referidos parâmetros fundamentaram-se nos estratos predominantes; na distribuição de diâmetro e de altura;

na existência, diversidade e quantidade de epífitas e trepadeiras; na presença, ausência e características da serapilheira e sub-bosque; na diversidade e dominância de espécies; e na presença de espécies vegetais indicadoras.

### 2.5.1. Métodos de classificação de dados digitais

Foram avaliados três métodos de classificação em imagens digitais, além dos algoritmos de decisão pertinentes a cada método. Foram utilizadas as seguintes classificações: visual (empregada na classificação da imagem Quickbird); por pixel e por regiões (efetuada nas imagens CBERS e IRS-CBERS).

Os algoritmos de decisão foram o da distância mínima até a média e máxima verossimilhanças e distância de Mahalanobis, empregados na classificação supervisionada por pixel (software ERDAS IMAGINE). A classificação por regiões foi realizada no programa computacional SPRING, tendo a distância de Batacharya como algoritmo de decisão.

## 2.6. Avaliação das imagens classificadas

Foram geradas nove imagens, como resultado dos três métodos de classificação e dos diferentes algoritmos de decisão (Tabela 2).

A avaliação da exatidão das classificações partiu da geração de um arquivo de referência, em que foram gerados, a partir da imagem IRS-CB-P-MV, 615 pontos de forma estratificada nas três classes mapeadas (estádios inicial, médio e avançado), somando um total de 205 pontos de referência para cada classe. Por meio de visitas a campo, coletas de pontos de controle e análise detalhada da imagem Quickbird, esses pontos tiveram suas classes rotuladas, sendo representativos da verdade de campo. Posteriormente, buscando identificar a fidedignidade das categorias de uso da terra, nas diferentes imagens classificadas, esses pontos de referência foram utilizados na construção da Matriz de Erros (ou Matriz de Confusão) de todas as imagens classificadas.

A fidedignidade da classificação foi avaliada pelo índice Kappa ( $K$ ). A avaliação de cada classe informacional, de forma particular, foi realizada calculando-se o Kappa condicional para linha (usuário) e coluna (produtor). O nível de exatidão do índice Kappa foi classificado conforme a Tabela 3.

**Tabela 2** – Características principais das imagens resultantes da classificação de estádios de sucessão florestal, utilizando diferentes métodos de classificação de imagens orbitais**Table 2** – Main characteristics of the images resulting for the classification of stadiums of ecological succession, using different methods of classification of orbital images

Imagem	Satélite	Resolução	$\lambda$ ( $\mu$ m)	Método	Regra de Decisão
CB-P-MD	CBERS II	20 m	0,52 – 0,89	Pixel	Mínima distância
CB-P-MV	CBERS II	20 m	0,52 – 0,89	Pixel	Máxima Verossimilhança
CB-P-DM	CBERS II	20 m	0,52 – 0,89	Pixel	Distância de Mahalanobis
CB-REG	CBERS II	20 m	0,52 – 0,89	Região	Distância de Batacharya
IRS-CB-P-MD	IRS-P6 e CBERS II	6 m	0,52 – 0,89	Pixel	Mínima distância
IRS-CB-P-MV	IRS-P6 e CBERS II	6 m	0,52 – 0,89	Pixel	Máxima Verossimilhança
IRS-CB-P-DM	IRS-P6 e CBERS II	6 m	0,52 – 0,89	Pixel	Distância de Mahalanobis
IRS-CB-REG	IRS-P6 e CBERS II	6 m	0,52 – 0,89	Região	Distância de Batacharya
Quickbird	Quickbird	0,61 cm	0,45 – 0,69	Visual	-

**Tabela 3** – Nível de exatidão de uma classificação, conforme o valor de índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977)**Table 3** – Classification level of exactness, as Kappa index value (LANDIS & KOCH, 1977)

Índice Kappa (K)	Qualidade
$K = 0,2$	Ruim
$0,2 < K = 0,4$	Razoável
$0,4 < K = 0,6$	Bom
$0,6 < K = 0,8$	Muito Bom
$K = 0,8$	Excelente

Para testar a significância estatística da diferença entre dois índices Kappa, foi utilizado o teste Z (CONGALTON e GREEN, 1998), expressão (1):

$$Z = \frac{K_2 - K_1}{\sqrt{\sigma_{K_2}^2 + \sigma_{K_1}^2}} \quad (1)$$

em que:

$K_1$  = índice Kappa da imagem 1;

$K_2$  = índice Kappa da imagem 2; e

$\sigma^2$  = variância do índice Kappa (expressão 2).

$$\sigma_K^2 = \frac{1}{n} \left[ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2-\theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4-4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \quad (2)$$

em que:

$$\theta_1 = \frac{1}{X} \sum_{i=1}^r X_{ii}$$

$$\theta_2 = \frac{1}{X^2} \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}$$

$$\theta_3 = \frac{1}{X^2} \sum_{i=1}^r X_{ii} (X_{i+} + X_{+i})$$

$$\theta_4 = \frac{1}{X^3} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r X_{ij} (X_{j+} + X_{+i})^2$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, os melhores resultados foram apresentados pelas classificações obtidas nos métodos por regiões e visual, com valores de Kappa mais elevados que as classificações por pixel; a imagem resultante da fusão da imagem IRS com a CBERS, classificada pelo método de regiões, obteve o melhor índice, estando dentro do nível considerado como bom pela literatura (Tabela 4).

A superioridade da classificação obtida pelo método IRS-CB-REG pode estar relacionada ao fato de a classificação por regiões levar em consideração, além de seu valor numérico, o contexto de inserção do pixel. A alta resolução espacial da imagem (6 m), aliada à presença da banda do infravermelho próximo, onde a vegetação apresenta maiores níveis de reflectância e baixa absorbância, contribui para o melhor desempenho dos algoritmos de decisão, resultando em uma classificação mais exata.

Os problemas de separação entre as classes resultaram em classificações com baixo nível de exatidão, o que pode ser explicado pela semelhança espectral existente entre os alvos (estádios inicial, médio e avançado de sucessão florestal), pequena variação entre os valores numéricos dos pixels, existência de sobreposição entre classes e pela baixa resolução espectral dos sensores.



**Tabela 4** – Índice Kappa para cada método  
**Table 4** – Kappa index for each method

Método	Kappa	Kappa Condicional					
		Estádio Inicial		Estádio Médio		Estádio Avançado	
		Usuário	Produtor	Usuário	Produtor	Usuário	Produtor
CB-P-DM	0,216	0,406	0,417	0,201	0,269	0,099	0,213
CB-P-MD	0,241	0,587	0,325	0,181	0,354	0,119	0,096
CB-P-MV	0,212	0,443	0,426	0,165	0,292	0,107	0,182
IRS-CB-P-DM	0,256	0,562	0,365	0,177	0,231	0,106	0,092
IRS-CB-P-MD	0,231	0,347	0,419	0,245	0,185	0,185	0,238
IRS-CB-P-MV	0,281	0,378	0,416	0,236	0,258	0,221	0,238
CB-REG	0,508	0,595	0,437	0,406	0,535	0,563	0,606
IRS-CB-REG	0,544	0,791	0,510	0,444	0,603	0,519	0,654
Quickbird	0,472	0,602	0,578	0,586	0,682	0,236	0,204

A classificação visual da imagem Quickbird obteve Kappa igual a 0,4717, classificado pela literatura como bom. Pouca diferença entre o dossel florestal dos estádios médio e avançado dificultou a interpretação do analista, mesmo em se tratando de uma imagem de alta resolução espacial, ocorrendo maiores erros na classificação do estádio avançado de sucessão tanto em relação ao produtor quanto em relação ao usuário, ou seja, a classificação do estádio avançado apresentou valores altos de erro de comissão (pixels incluídos erroneamente em uma classe quando eles deveriam ser assinalados a outra classe) e erro de omissão (pixels omitidos de sua correta classe e assinalados a outra), o que contribuiu para o baixo valor do índice Kappa obtido.

No mapeamento de fases de sucessão florestal, as classes espectrais são estreitamente semelhantes. A alta resolução espacial da imagem Quickbird não forneceu dados suficientes para a distinção entre os estágios de sucessão florestal, em que o dossel já se encontra fechado, em que a estrutura da comunidade florestal; composição florística; e arquitetura das árvores é um dos principais critérios de diferenciação. Esses critérios são analisados perante campanhas de campo, em que são mensuradas as árvores e calculados indicadores (área basal, volume e altura, entre outros) utilizados na diferenciação dos estádios de sucessão. Assim, é esperado melhor resultado nas classificações visuais com imagens de alta resolução, quando elas forem antecedidas de uma campanha de campo mais intensa na área de estudo, possibilitando ao intérprete aplicar maior rigor no julgamento entre as classes, diminuindo a subjetividade quanto à delimitação de polígonos que apresentem padrões de tonalidade, textura e cor similares, como ocorreu para os estádios médio e avançado de sucessão.

De maneira geral, classificações mais exatas são esperadas quando os estádios médios e avançados de sucessão forem agrupados em uma única classe, conforme apresenta a Tabela 4, em que o Kappa condicional do estádio inicial obteve valores mais altos, em comparação com os demais estádios.

### 3.2. Significância entre índices Kappa

O cálculo do valor de Z, o qual teve como base os valores e a variância do índice Kappa, permitiu a comparação entre os métodos de classificação.

Analisando os valores da estatística Z (Tabela 5), verificou-se que, além de baixos, não houve diferença estatística entre os valores de Kappa gerados a partir da utilização dos diferentes algoritmos de decisão, no método de classificação por pixel.

A diferença de resolução espacial entre a imagem IRS-CBERS (6 x 6 m) e a imagem CBERS (20 x 20 m), no método de classificação por pixel, somente resultou em uma classificação de melhor qualidade (Z significativo  $p = 0,05$ ), no caso da imagem IRS-CB-P-MV, comparada às imagens CB-P-DM e CB-P-MV, ainda que o nível de exatidão da classificação de ambas as imagens tenha fornecido valores de índice Kappa considerados pela literatura como razoáveis (Kappa entre 0,2 e 0,4).

Embora o índice Kappa tenha apontado o método IRS-CB-REG como o de melhor qualidade na classificação, não houve diferença estatística entre os valores de Kappa gerados, respectivamente, nos métodos IRS-CB-REG, CB-REG e Quickbird (porém a inexistência de um número adequado de repetições não permite conclusões sobre a eficiência da melhor resolução espacial, no processo de classificação de estádios de sucessão florestal).

**Tabela 5** – Teste Z para significância entre índices Kappa resultantes da classificação de diferentes imagens e métodos de classificação de imagens orbitais**Table 5** – Test Z for significance between two kappa index, resulting of classification of different images and method of classification of orbital images

Métodos	CB-P-DM	CB-P-MD	CB-P-MV	IRS-CB-P-DM	IRS-CB-P-MD	IRS-CB-P-MV	CB-REG	IRS-CB-REG	Quickbird
Kappa	0,2157	0,2406	0,2123	0,2561	0,2307	0,2805	0,5083	0,5437	0,4717
Variância	0,0009284	0,0009800	0,0009833	0,0008033	0,0008800	0,0009000	0,0008800	0,0009600	0,0009200
CB-P-DM	7,08								
CB-P-MD	0,80 <sup>NS</sup>	7,69							
CB-P-MV	0,11 <sup>NS</sup>	0,90 <sup>NS</sup>	6,77						
IRS-CB-P-DM	1,30 <sup>NS</sup>	0,49 <sup>NS</sup>	1,41 <sup>NS</sup>	9,04					
IRS-CB-P-MD	0,49 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	0,60 <sup>NS</sup>	0,81 <sup>NS</sup>	7,76				
RS-CB-P-MV	2,03*	1,22 <sup>NS</sup>	2,14*	0,75 <sup>NS</sup>	1,55 <sup>NS</sup>	9,35			
CB-REG	8,00*	7,16*	8,09*	6,79*	7,55*	6,01*	17,10		
IRS-CB-REG	8,72*	7,89*	8,80*	7,53*	8,28*	6,77*	0,83 <sup>NS</sup>	18,25	
Quickbird	6,89*	6,09*	6,97*	5,71*	6,45*	4,97*	0,83 <sup>NS</sup>	1,66 <sup>NS</sup>	15,51

Z estatístico = 1,96: significativo a 95% de probabilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

A semelhança espectral entre os estádios de sucessão florestal dificultou o processo de classificação dos algoritmos de decisão utilizados nos diferentes métodos, resultando em classificações de baixa precisão, caracterizadas por baixos valores de índice Kappa.

Os métodos de classificação por regiões e visual mostraram ser mais eficientes na classificação de estádios de sucessão florestal, quando comparados com o método de classificação por pixel, apresentando valores mais elevados de índice Kappa. O que demonstra a importância da inserção dos padrões de tonalidade, textura e cor dos pixels em um contexto regional, para a classificação do mosaico de estádios de sucessão florestal em fragmentos de mata nativa.

Dos estádios de sucessão, o inicial foi o que apresentou melhores resultados, com valor de Kappa condicional próximo do que é considerado, pela literatura, como muito bom, diferentemente dos valores de Kappa condicional obtidos nos estádios médio e avançado, os quais permaneceram baixos em todos os métodos avaliados. Assim, foi possível concluir que a utilização de imagens dos satélites CBERS, IRS e Quickbird somente foi eficiente para separar o estágio inicial de sucessão secundária dos estádios avançado e médio.

Pode-se constatar que as técnicas de sensoriamento remoto utilizadas neste trabalho, para fins de mapeamento do mosaico de estádios de sucessão florestal, não foram capazes de substituir os trabalhos de campo. Elas apenas permitiram um planejamento mais eficiente das ações a serem realizadas na etapa conclusiva.

#### 5. REFERÊNCIAS

- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 10, de 01 outubro 1993. **Estabelece parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão da Mata Atlântica**. Brasília, DF. 01 out. 1993. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res1093.html> >. Acesso em: 18 dez. 2006
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1998. 137p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2004. 1 mapa, color., Escala 1:5.000.000.
- LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v.33, n.3, p.159-179, 1977.
- NAVE, A. G. **Determinação de unidades ecológicas num fragmento de floresta nativa, com auxílio de sensoriamento remoto**. 1999. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, 1999.



PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira-PA. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.403-410, 2002.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação arbórea secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.535-545, 2004.

RIBEIRO, M. P. **Avaliação de métodos de classificação de imagens IKONOS II para o mapeamento da cobertura terrestre**. 2003. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

WHITMORE, T. C. **Tropical rain forest of the far east**. 2.ed. New York: Oxford University Press, 1984. 352p.